

**SISTEMA DE RECUPERACIÓN SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE FISURAS EN PAVIMENTOS
ASFALTICOS**



AUTORES

MARIA ANGELIZA CRUZ OLIVEROS

JOSE ANDRES CHAVES MEJIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

Edgar Rodríguez Rincón
Profesor Asistente
Programa Ingeniería Civil
Facultad de Estudios a Distancia

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ, noviembre 2018

SISTEMA DE RECUPERACIÓN SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE FISURAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MARÍA ANGÉLICA CRUZ O.
JOSE ANDRÉS CHAVES M.
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Resumen

La infraestructura vial es el sistema circulatorio de una región; representa la comunicación interna del país y así mismo la movilización de la economía, por ello es de gran importancia que los corredores viales se encuentren en óptimo estado. Lograr dicho estado requiere inversión por parte de la administración local y es precisamente a través del mantenimiento preventivo que se logra extender la vida útil de una carretera. El objetivo de la presente investigación es analizar el comportamiento de una emulsión asfáltica modificada de rompimiento rápido, con el fin de que pueda ser utilizada en el mantenimiento preventivo y rutinario de vías pavimentadas con asfalto, buscando que su aplicación sea útil para el tratamiento de diversas patologías como: desgaste superficial de capa de rodadura, fisuras y piel de cocodrilo. Para el presente trabajo se realizó la caracterización de una emulsión modificada de rompimiento rápido CRR-1 para determinar sus componentes y propiedades según especificaciones INVIAS (2012); luego, se añadió un polímero tipo látex y se realizó una nueva caracterización. Con la adición del polímero se logró el mejoramiento de la elasticidad, homogeneidad y capacidad de recuperación de la emulsión. Las pruebas realizadas en campo (Cali y Medellín) permitieron comprobar la efectividad de la emulsión para tratar fisuras, desgaste superficial y piel de cocodrilo.

Palabras Clave: Emulsión asfáltica modificada, mantenimiento preventivo, patologías, propiedades, mejoramiento.

Surface Recovery System And Fisure Maintenance In Asphalt Pavements Abstract

Road infrastructure is the circulatory system of a region. It represents the internal communication of the country and likewise economy mobilization. For that reason, it is of great importance that the road corridors are in optimal conditions. Achieving this state requires an investment by the local administration and it is important that through preventive maintenance the roads' life is extended. The objective of this investigation is to analyze a modified asphalt fast-breaking emulsion in order to improve its characteristics. It can be used in the preventive and routine maintenance of roads paved with asphalt. Its application will be useful for the treatment of various pathologies as: surface wear of tread, fissures and crocodile skin. The characterization of a modified CRR-1 fast-breaking emulsion was carried out to determine its components and properties according to INVIAS specifications (2012). Subsequently a latex polymer was added and a new characterization was performed. With addition of the polymer, the improvement of elasticity, homogeneity and capacity of recovery of the emulsion was achieved. The tests carried out in the field (Cali and Medellín) allowed to verify the effectiveness of the emulsion to treat fissures, surface wear and crocodile skin.

Key words: Modified asphalt emulsion, preventive maintenance, pathologies, composition, improvement.

1. INTRODUCCION

Una infraestructura vial en condiciones aceptables asegura la movilidad, tanto de la población de determinada región, así como de su economía. (Clavijo, 2015)

El estado de la red vial primaria del país, según el último estudio a la Red Vial Pavimentada realizado en 27 Departamentos por el INVIAS (2017) es de: 37,41% Bueno; 32,20% Regular; 14,70% Muy buen estado. El estudio demostró que en la mayoría de los casos, el mal estado de las vías es superior al estado muy bueno; mientras que el estado bueno, permanece a la par con el regular y mal estado.

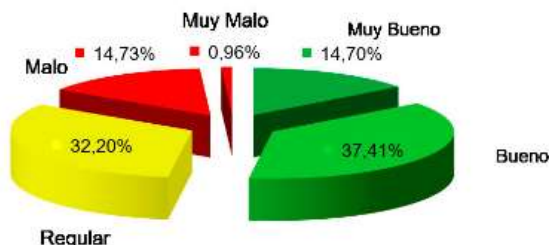


Figura 1. Estado de la Red Vial Pavimentada II Semestre 2017. Fuente: INVIAS 2017.

El índice de competitividad global (ICG) es medido por el Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés) en 137 Países. El IGC determina la capacidad que tiene una nación para lograr un crecimiento económico sostenido a largo plazo, con relación a la capacidad de proveer a sus habitantes un nivel determinado de prosperidad de acuerdo a los recursos que dispone. Este indicador se mide a través de 12 pilares, el segundo de ellos es precisamente el de Infraestructura. En Latinoamérica y el Caribe, el estudio (2017-2018) situó a Colombia en el puesto 66, se realizó una comparación con los demás países en América del Sur, los resultados del estudio se presentan en la Figura 2.

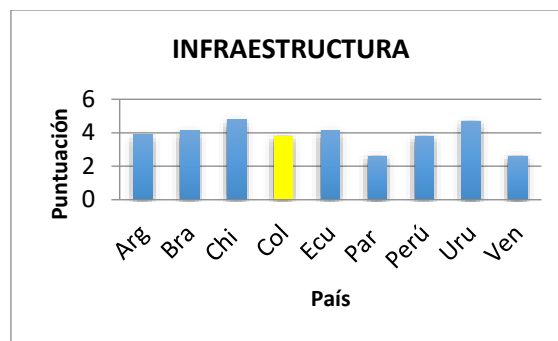


Figura 2. Infraestructura según ICG en Sur América. Fuente: Propia (Con base en el ICG, 2017-2018)

La infraestructura se constituye como un medio a través del cual pueden desarrollarse las demás actividades económicas (Fedesarrollo, 2013), por lo cual, sin una buena infraestructura vial, no puede movilizarse adecuadamente la producción en el país, por lo que se afecta de manera directa la economía y ello se refleja en los costos finales de los productos, cuyos sobrecostos afectan a los consumidores.

Según lo anterior, es claro que el país requiere un impulso en el sector infraestructura, o bien una correcta administración de los recursos, como lo afirman Yepes y Ramírez, (Fedesarrollo 2013) “...el flujo de recursos para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de las vías, no es estable y por ésta razón el mantenimiento no es preventivo, como debería ser, sino correctivo.”

Dada la necesidad de realizar mantenimientos preventivos, el objetivo de la presente investigación por tanto, es analizar el comportamiento de una emulsión asfáltica modificada con polímeros. Dicho análisis servirá para buscar mejorar las características de una emulsión asfáltica, con el fin de que pueda ser utilizada para el tratamiento de patologías comunes en vías pavimentadas con concreto asfáltico; tales como: piel de cocodrilo, fisuras y desgaste superficial, se busca también que la emulsión sea rentable, técnicamente viable para desarrollar en Colombia y que además, se adapte a las condiciones climáticas específicas de las diversas regiones del territorio nacional.

2. MARCO TEORICO

2.1 Pavimento

Está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados; toda esta estructura se apoya sobre la subrasante, cuya superficie deberá resistir los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmitan durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

2.2 Comportamiento del Pavimento

Toda estructura de pavimento sufrirá con el tiempo algún tipo de daño o presentará deterioro, aun cuando esta haya sido construida con todas las especificaciones técnicas necesarias, esté diseñada adecuadamente y tenga un mantenimiento óptimo. Todo pavimento tiene una vida útil definida y está diseñado para fallar en un período específico de tiempo.

Los pavimentos tienden a deteriorarse desde su puesta en servicio hasta alcanzar el nivel de inaceptabilidad, siendo la rata de deterioro progresiva, será relativamente lenta al principio pero incrementándose cada vez más al final de la vida útil de la estructura, acelerándose significativamente en un momento determinado, en la figura 3, éste momento se determina desde el punto A, hasta el punto B. (CAF, 2010).

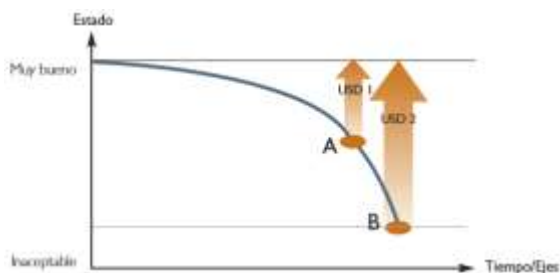


Figura 3. Implicaciones económicas de diferir inversiones de rehabilitación. Fuente: CAF, 2010.

En términos cuantitativos, el deterioro del pavimento es “exponencial”, ya que se hace necesario determinar el momento en el que debe hacerse el mantenimiento o la rehabilitación de la estructura, ya que a medida que incrementa el deterioro, debe hacerse una mayor inversión para su recuperación, adquiriendo una mayor

importancia económica ya sea a corto o a largo plazo.

2.3 Emulsión Asfáltica Modificada

Una emulsión es una dispersión de dos elementos insolubles uno en el otro. El INVIAS (2012) define a éste tipo de emulsiones asfálticas como “dispersiones de pequeñas partículas de un ligante hidrocarbonado y de un polímero en una solución de agua y un agente emulsificante de carácter catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión”. Se compone básicamente de asfalto, agua y un agente emulsificante, en ocasiones este último puede contener un estabilizador; en usos especiales se pueden agregar polímeros.

El carácter de la emulsión determina si es de tipo C (catiónica) o tipo A (aniónica); se categorizan también según el tipo de rompimiento; siendo **RR** (rompimiento rápido), **RM** (rompimiento medio) o **RL** (rompimiento lento); también según la viscosidad: código **1** (viscosidad baja) o **2** (viscosidad alta). Si al nombre de la emulsión contiene la letra **H**, significa que su estabilidad es alta. Si contiene la letra **M**, significa que se encuentra modificada con polímeros.

2.4 Polímeros.

En emulsiones asfálticas, los polímeros se utilizan como modificadores de la emulsión. Dado que es un tipo de látex tiene la propiedad de dar mayor flexibilidad al asfalto, evitando que se presente un deterioro prematuro, alargando su vida útil (Zamora *et al.* 2013). La adición de polímeros modifica las propiedades de la emulsión, tales como; elasticidad, resistencia a la tracción, susceptibilidad a altas y bajas temperaturas, viscosidad, adhesión y cohesión.

Los tipos de polímeros modificadores se dividen en elastómeros y plastómeros. Los principales modificadores que se utilizan son:

-Polímero Tipo I: Mejora el comportamiento de la mezcla a baja o alta temperatura, se fabrica con base en bloques de estireno, su configuración puede ser estireno-butadieno-estireno (SBS) o estireno-butadieno (SB), puede ser usado para carpetas asfálticas delgadas y pavimentos con alto índice de tránsito y carga pesada.

-Polímero Tipo II: Mejora el comportamiento de la mezcla a baja temperatura, se fabrica con base en polímeros elastómeros lineales, su configuración puede ser butadieno-látex o neopreno-látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas cuando se busca mejorar el comportamiento del pavimento en clima frío y templado o para fabricar emulsiones para tratamientos superficiales.

-Polímero Tipo III: Mejora la resistencia de deformación, disminuye la susceptibilidad a la temperatura; mejorando el comportamiento del asfalto a altas temperaturas, se fabrica con base en un elastómero, su configuración puede ser etilvinil-acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad. Es utilizado en climas cálidos, en pavimentos con altos índices de tránsito y para fabricar emulsiones para tratamientos superficiales.

-Hule (Caucho) molido de neumáticos: Mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica, disminuyendo la aparición de grietas por cambios de temperatura o fatiga. Es el producto de la molienda de neumáticos y es utilizado en carpetas asfálticas delgadas con granulometría abierta, también se usa para tratamientos superficiales.

2.5 Uso de Emulsiones Modificadas

Las emulsiones modificadas con polímeros en países como Canadá o Estados Unidos, son utilizadas desde hace ya varios años, debido a sus múltiples ventajas; mayor vida útil del pavimento, menor pérdida de agregados de la superficie, Fácil aplicación, Eco-amigable, entre otras. (Voth. 2009).

Otras propiedades como la resistencia a la tracción, la resistencia al corte y la resistencia a las variables de temperatura han tenido mejor comportamiento en comparación con los asfaltos convencionales (Kandil *et al.* 2007), el mejoramiento de éstas variables deriva en una mayor vida útil de la vía, menores costos de rehabilitación y menores tiempos de mantenimiento que permiten abrir el tránsito en tiempos prudenciales sin afectar la movilidad de la zona.

La División de Carreteras Federales de Estados Unidos (FLH por sus siglas en inglés) ha evaluado en campo la efectividad de los asfaltos modificados; se realizaron numerosas pruebas durante 2008 y 2009, entre las cuales se pueden mencionar (Voth. 2009):

- *Dinosaur National Monument:* En donde se utilizó neopreno como modificador al asfalto en una longitud de 11 millas.

- *The Utah Parks:* 90 millas de vía, (*Arches National Park, Canyonlands National & Natural Bridge National Monument Park*) se utilizó una emulsión modificada tipo CRR-2M con látex natural como modificador.

- *Death Valley National Park:* En donde se realizaron 21 Millas de sello con un modificador tipo SBR.

- *Intersección de rutas 138 y 155 Stockbridge-Georgia, Estados Unidos* (Fournier. 2010): Se utilizó un modificador tipo SBS para la pavimentación de las rutas adyacentes de la intersección, incluyendo la ampliación y adición de carriles de giro en cada dirección.

La utilización de los polímeros mejora el desempeño del asfalto, incrementando la rigidez, ductilidad, adhesión, cohesión y elasticidad, disminuye la susceptibilidad a la temperatura y en general mejora la durabilidad, con un costo no mayor del 10%. (Voth. 2009)

3. MATERIALES Y METODOS

Se utilizó una emulsión asfáltica modificada tipo CRR-1, Catiónica de Rompimiento Rápido (CRR) de viscosidad baja (1), para realizar su caracterización y así determinar sus propiedades reológicas.

Una vez identificadas las características de la emulsión; se procedió a adicionar a la emulsión CRR-1 un modificador elastomérico tipo látex denominado Surfaflex C-1800 (Modificador compatible con el tipo de emulsión analizada) y se realizó una nueva caracterización para determinar

si la adición del polímero modificaría las propiedades reológicas. Una vez adicionado el polímero, la emulsión cambia de tipo CRR-1 a tipo CRR-2M: Catiónica de Rompimiento Rápido (CRR) de viscosidad alta (2) Modificada (M).

Obtenidos los resultados de las dos caracterizaciones, se realizó una comparación a las propiedades de las emulsiones y se procedió a realizar pruebas en campo con la emulsión modificada con el polímero.

3.1 Caracterización

Para la caracterización se realizaron las siguientes pruebas, según especificaciones INVIAS (2012) para emulsiones asfálticas modificadas con polímeros:

- Viscosidad Saybolt Furol (INV-E-763)

- Destilación de emulsiones asfálticas (INV-E-762)

- Estabilidad al almacenamiento a 24 horas y sedimentación a 5 días (INV-E-764)
- Retenido Tamiz #20 (INV-E-765)
- Carga de la partícula (INV-E-767)
- pH (INV-E-768)

Y Pruebas sobre el residuo de destilación, cuya finalidad es evaluar el desempeño del ligante asfáltico, mediante la obtención de un residuo similar a las condiciones en campo:

- Penetración (INV-E-706)
- Ductilidad (INV-E-702-13)
- Solubilidad en tricloroetileno (INV-E-713)
- Recuperación elástica por torsión (INV-E-727).

Los resultados de la caracterización de las emulsiones asfálticas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados de Laboratorio

CARACTERISTICAS	CRR - 1		CRR - 2M	
	RESULTADO	ESTATUS	RESULTADO	ESTATUS
Ensayos sobre las emulsiones				
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	21s	Cumple	22s	Cumple
Estabilidad durante almacenamiento 24 horas	2.7%	No Cumple	-2%	No cumple
Sedimentación a los 5 días	20%	No Cumple	-13%	No cumple
Contenido de asfalto residual por destilación	62.6%	Cumple	65%	Cumple
Contenido de disolventes	0%	Cumple	0%	Cumple
Retenido tamiz # 20	0.3%	No Cumple	0%	Cumple
Carga de partícula	Positiva	Cumple	Positiva	Cumple
pH	3.1	Cumple	3.4	Cumple
Ensayos sobre el residuo de las emulsiones				
Penetración (25°C, 100g, 5s)	53.3mm	No Cumple	79mm	Cumple
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	>100cm	Cumple	81cm	Cumple
Recuperación elástica por torsión, 25°C	10%	No Cumple	15%	Cumple

Fecha de realización caracterización CRR-1; 24 de Mayo de 2017.

Fecha de realización caracterización CRR-2M; 31 de Julio de 2017. Fuente: Elaboración Propia.

3.2 *Análisis de Resultados*

Las pruebas de laboratorio realizadas a las emulsiones mostraron los siguientes resultados:

- La cantidad de asfalto retenido en el Tamiz #20, fue de 0.3%. El tamaño relativamente grande de los glóbulos del asfalto en la emulsión CRR-1 puede afectar la estabilidad de la emulsión, puede ser un indicador de que la emulsión tendrá una tendencia a sedimentarse lo cual puede causar su rompimiento.
- Con la adición del polímero se logró mejorar la retención en el Tamiz #20, obteniéndose un resultado de 0%, lo que indica que la emulsión CRR-2M es homogénea, mantendrá una consistencia estable durante la aplicación y será más resistente debido a la distribución de partículas de asfalto dentro de la emulsión.
- La prueba de penetración determina la dureza del asfalto a una temperatura específica. La muestra de emulsión CRR-1 presentó un resultado de 53.3mm, indicando baja susceptibilidad a la temperatura (25°). El asfalto tendrá un comportamiento frágil en condiciones térmicas bajas con probabilidad de falla de tipo fisuras.
- La emulsión CRR-2M presentó una penetración de 79mm, lo que indica que la adición del látex mejoró el ablandamiento de la emulsión y su comportamiento será del tipo elástico. Esto permite inferir que el asfalto tendrá mejor recuperación ante las cargas incluso en ambientes fríos.
- La emulsión CRR-1 no presentó el porcentaje de recuperación mínimo requerido (12%) para el ensayo de recuperación elástica por torsión, indicando que el pavimento fallará cuando se presenten cargas repetidas, ya que el asfalto no recuperará su forma original y pueden presentarse fisuras o ahuellamientos. Para éste tipo de emulsiones el porcentaje mínimo requerido es del 12% según el INVIAS (2012).
- La emulsión CRR-2 presentó una recuperación elástica por torsión de 15% con la adición del polímero, lo que determina que el asfalto se adaptará a las solicitudes de la vía lo cual es importante porque la emulsión será utilizada en recubrimiento y sellado de fisuras. Siendo uno de los parámetros más relevantes, ha de garantizarse en lo posible una recuperación elástica que se adapte a los movimientos y cargas repetidas que puedan llegar a presentarse.

4. PRUEBAS DE CAMPO

Observando los resultados de laboratorio obtenidos de la Emulsión CRR-2M, se espera que las pruebas de campo demuestren la eficiencia del producto. Se realizaron diversas pruebas en Cali, Medellín e Itagüí.

La prueba más relevante se realizó en la ciudad de Medellín, en la vía de acceso al parqueadero del edificio Los Esteros, ubicado en la carrera 45 #95-29 el Poblado. Se trata de una vía de acceso con pendiente pronunciada y que fue tratada exitosamente sin que el pavimento perdiera las características de tracción que requieren éste tipo pavimentos para vías con pendiente.



Figura 4. Estado inicial del pavimento. Fuente: Los Autores.



Figura 5. Estado final del pavimento, luego de la reparación con la emulsión CRR-2M. Fuente: Los Autores.

Es posible observar en las imágenes la diferencia entre la superficie tratada y la superficie original, siendo evidente la uniformidad en la superficie tratada con la emulsión CRR-2M. Se puede evidenciar el llenado de las fisuras (en el recuadro mostrado en la fotografía) y aún se aprecian las fisuras en la superficie no tratada a la derecha de la imagen.

Durante la realización de las pruebas, se lograron evidenciar también, las ventajas logísticas de realizar el mantenimiento de vías con éste tipo de emulsiones de rompimiento rápido, cabe destacar las siguientes:

- Rapidez y aprovechamiento de recursos: La facilidad de aplicación trae como resultado el uso de mano de obra no especializada, se puede emplear a cualquier tipo de personal para la realización de los trabajos, con el acompañamiento de la debida supervisión, llevando empleo a las distintas zonas.

- Pronta puesta en servicio: No se generan afectaciones significativas en los diferentes flujos vehiculares o en los accesos a las zonas por causa de la aplicación de los productos para el mantenimiento superficial de las vías, esto como consecuencia del uso de una emulsión asfáltica modificada de rompimiento rápido y a la facilidad de aplicación, evitando cierres prolongados de vías o accesos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La adición del polímero mejoró las propiedades reológicas de la emulsión CRR-1, aumentando su elasticidad y por tanto su capacidad de recuperación: En asfaltos, éste es uno de los parámetros más importantes ya que el pavimento deberá ser capaz soportar cargas axiales y estar en capacidad de recuperar su forma sin fallar ante los esfuerzos.

En general las superficies tratadas con la emulsión CRR-2M presentaron similares comportamientos, aun cuando se utilizaron diferentes tamaños de agregados, por lo que se concluye que el producto es versátil y puede ser utilizado en diferentes condiciones.

Luego de 6 meses de la aplicación y tratamiento con la emulsión CRR-2M fue posible evidenciar que las superficies presentaron un deterioro mínimo en comparación con la superficie original, por lo cual se concluye que la emulsión cumplió con el objetivo de disminuir el desgaste superficial en pavimentos asfálticos y puede ser utilizada para el tratamiento y mantenimiento preventivo frente a esta patología.

Se evidenciaron las ventajas logísticas para el mantenimiento de vías con éste tipo de emulsiones.

6. REFERENCIAS

- [1] CAF. Corporación Andina de Fomento. *Mantenimiento Vial, informe sectorial*. Banco de desarrollo de América Latina. p.10. (2010) Última visita 17 de Diciembre de 2017. Disponible en: http://publicaciones.caf.com/media/1133/IS_Mantenimiento_vial.pdf
- [2] [CLAVIJO.H., ALZATE. M., MANTILLA. L. *Análisis del sector de Infraestructura en Colombia*. PMI. Bogotá. 2015.](#)
- [3] FEDESARROLLO. *Infraestructura de Transporte en Colombia*. Última visita 20 diciembre 2017.
Disponible en:
http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/153/CDF_No_46_Julio_2013.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [4] FORO ECONOMICO MUNDIAL. *Índice De Competitividad Global 2017-2018*. Última visita 07 de Enero de 2018. Disponible en:
<http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%992018.pdf>
- [5] [FOURNIER. P. *Georgia DOT chooses highly modified asphalt for busy intersection*. Associated Construction Publications. Volume 84 Number 10. Pavement Preservation Journal. United States. 2010.](#)

- [6] [HERNANDEZ.G., GUERRERO. A., MEXICANO. J., PINEDA. A., FRANCO. M. *Fronteras Tecnológicas en el Uso de Asfaltos Modificados para Pavimentos*. Asociación Mexicana del Asfalto. México. 2013.](#)
- [7] INVIAS. Instituto Nacional de Vías. *Estado De La Red Vial*. Última visita 05 de Enero de 2018. Última actualización 17 de Enero de 2018. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>
- [8] INVIAS. Instituto Nacional de Vías. *Normas y especificaciones 2012 para Pavimentos Asfálticos*. Última visita 08 de Febrero de 2018. Disponible en: ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Especificaciones%20Generales%20de%20Construccion%20de%20carreteras/CAP%C3%8DTULO%204_1.pdf
- [9] JUGO. A. *Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles*. Última visita 10 de Diciembre de 2017. Disponible en: http://vialidad21.galeon.com/manual_mrvial.pdf
- [10] [KANDIL. K., EL HALIM. A., HASSAN. Y., MOSTAFA. A. *Investigation of the effects of different polymer-modified asphalt cements on asphalt mixes at low temperature*. Canadian Journal of Civil Engineering. NRC. Canada. 2007.](#)
- [11] [MONTEJO. A. *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Universidad Católica de Colombia. Agora Editores. 2002.](#)
- [12] [VOTH. M., SORENSON. J. *New guidance aids understanding of Polymer modified emulsions*. Pavement preservation Journal. United States. 2009.](#)

7. [AUTORES DEL ARTICULO](#)

María Angélica Cruz Oliveros. Topógrafo de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. LP. No. 01-12583 con 9 años de experiencia profesional. Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, facultad de estudios a distancia; correo electrónico: marangelcruz@gmail.com.

Jose Andrés Chaves Mejía. Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, facultad de estudios a distancia; correo electrónico: jandresu@hotmail.com.